

木麻黄与湿地松混交林的土壤碳贮量动态^{*}

1. 福建省林业科学研究院 2. 福建省森林培育与林产品加工利用重点实验室
3. 南方森林资源与环境工程研究中心 4. 福建农林大学林学院 5. 厦门大学海洋与环境学院
6. 中国科学院地理科学与资源研究所 7. 福建省东山赤山国有防护林场
郭瑞红^{1,4} 叶功富^{1,2,3} 卢昌义⁵ 肖胜生⁶ 陈胜⁷

〔摘要〕对木麻黄—湿地松混交林、木麻黄纯林土壤含碳率及其碳贮量进行了研究。结果表明：含碳率和碳贮量在不同林地之间均存在显著差异，木麻黄—厚荚相思混交林>木麻黄纯林；含碳率随土层深度的增加而降低，且随土层加深差异逐渐减小，到 100cm 时差异基本消除。

〔关键词〕木麻黄 湿地松 含碳率 碳贮量

森林是生物圈的主体，森林生态系统碳循环是全球碳循环的一个重要组成部分，其对全球碳循环的影响是近年来人们关注的焦点之一^[1,2]。随着近年来天然林资源的减少，人工林面积不断增加，人工林在森林生态系统中占有越来越重要的地位，中国现有有人工林保存面积已达到 5300 多万公顷，已成熟林的人工林面积约 3425 万公顷，居世界之首。但目前有关人工林生态系统碳循环的研究不多^[3]，特别是我国亚热带地区人工林生态系统碳循环研究资料更少，诸如沿海防护林的一种重要树种木麻黄的研究至今未见报道。这些就限制了对我国亚热带人工林生态系统碳汇源的准确评估。因此进行我国亚热带人工林生态系统碳循环研究已成为当前全球气候变化研究中急需解决的重大课题。森林生态系统碳贮量主要包括地上部分和地下部分，即植被层和土壤层^[4,5]。精确评估森林碳贮量，需要分别对不同地域条件下不同林分植被层和土壤层的碳含量分别进行研究，这也是当前陆地碳循环的研究热点^[6-11]。

本文选取福建省东山县赤山国有防护林场的木麻黄—湿地松混交林为研究对象。分别对不同发育阶段的林分土壤碳贮量进行测定，为精确估测我国亚热带地区人工林碳储量提供参考依据。

1 研究区概况

研究区设在福建省东山县赤山国有防护林场，东经 117°18′，北纬 23°40′。属亚热带海洋性季风气候，年平均气温 20.8℃，绝对最高气温 36.6℃，绝对最低气温 3.8℃，全年无积雪，无霜冻，年均降水 1164mm，年均蒸发 2028mm，全年干湿季节明显，每年的 11 月至翌年的 2 月为旱季，大部

分的降水集中于台风多发的月份 5~9 月，年均台风 5.1 次。土壤以滨海沙土为主，均一性风积沙土，潮积沙土，红壤性风积，泥炭性风积沙土等。

2 研究方法

2.1 试验设计

在东山赤山林场选择立地条件相似的不同发育阶段（幼龄林、中龄林、和成熟林）的木麻黄—湿地松混交林和同年生木麻黄纯林，每种林分中分别建立 3 个 20m×20m 标准地，共建立 21 个标准地。

2.2 调查及测定计算方法

在设置的样地内按“S”形随机设定取样点 5 个，按 0~20cm、20~40cm、40~60cm、60~100cm 分层取土壤样；土样在室内风干后过 0.149mm 筛，采用重酸钾加热法测定土壤含碳率；同时用环刀取原状土，带回室内测定不同层次土壤的容重。

由于本次调查人工林分布的土层厚度在 100cm 左右，因此本文对土壤碳贮量的估算限定在土层 100cm 的深度范围内，不包括地表枯落物。具体采用下面的公式：

$$S_d = \sum_{i=1}^l D_i C_i H_i$$

其中 S_d 表示土壤表层 i 深度内单位面积土壤碳贮量 (t/hm^2)， D_i 表示第 i 土层的容重 (t/m^3)， C_i 表示第 i 土层的含碳率 (%)， H_i 表示第 i 土层的厚度 (m)。

3 结果与分析

3.1 土壤容重及碳素含量

由表 1 可知，木麻黄—湿地松混交林和纯林土壤容重基本

^{*} 基金项目：国家“十一五”科技支撑计划项目（2006BAD03A14-01），福建省重大科技专项（2006NZ0001-2）。

都随土壤深度增加而增加, 0~20cm、20~40cm、40~60cm和60~100cm四层次的平均值依次为1.426g·cm⁻³(以下单位同)、1.639、1.674、1.784和1.297、1.508、1.691、1.696, 总平均分别为1.631和1.548。同一土层, 15a生木麻黄纯林和木麻黄—湿地松混交林间土壤容重没有明显差异。

表1 东山木麻黄—湿地松混交林及纯林土壤容重和碳素含量

类别	土层/cm	0~20	20~40	40~60	60~100	平均
木—湿 混交林	容重/g·cm ⁻³	1.427	1.639	1.674	1.784	1.631
	含碳率/%	0.405	0.29	0.17	0.13	0.249
木麻黄 纯林	容重/g·cm ⁻³	1.297	1.508	1.691	1.696	1.548
	含碳率/%	0.345	0.2	0.16	0.11	0.204

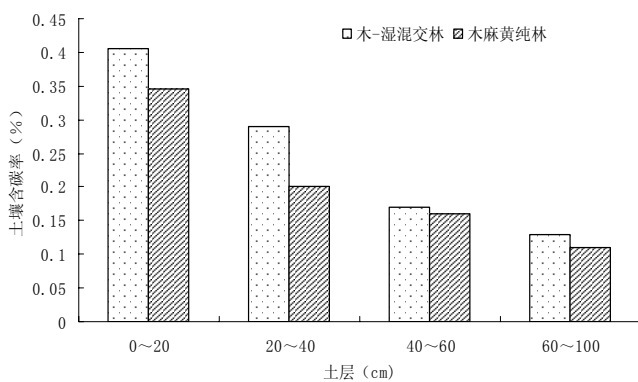


图1 东山木麻黄—湿地松混交林及纯林土壤碳素垂直分布

由表1及图1可看出, 土壤各层次碳含量随着土层加深而降低, 差异较明显, 相邻土层尤以0~20cm、20~40cm的差异最为显著。其原因在于上部土层较下部土层的生物归还量大, 有机碳较多积累在上部土层的缘故。这与方运霆^[7]对鼎湖山自然保护区土壤含碳率的研究结论是一致的, 与田大伦对湖南会同杉木人工林土壤含碳率研究结论亦是一致的。木麻黄—湿地松混交林20~40cm、40~60cm和60~100cm 3个土层的土壤含碳率分别是0~20cm土层的71.46%、41.98%、32.10%。15a生木麻黄纯林20~40cm、40~60cm和60~100cm 3个土层的土壤含碳率分别是0~20cm土层的57.97%、46.38%、31.88%。

同一土层混交林和纯林之间碳含量仍然存在明显差异, 混交林大于纯林。木麻黄—湿地松混交林0~100cm土层平均含碳率是0.25%, 是相应纯林的1.22倍。木麻黄—湿地松混交林0~20cm、20~40cm、40~60cm和60~100cm含碳率分别为0.41%、0.29%、0.21%、0.18%, 分别是15a生纯林的1.17倍、1.45倍、1.06倍、1.18倍。总的来看, 混交林生态系统土壤的碳素含量高于同年生纯林, 明显低于植被层的碳素。

3.2 土壤层碳储量

根据土壤C含量和土壤容重(表1)可以计算出林地土壤C贮量(图2)。15a生木麻黄—湿地松混交林的土壤C贮量要高于同年生木麻黄纯林。木麻黄—湿地松混交林0~100cm土壤碳贮量为36.03t·hm⁻², 比木麻黄纯林增加了29.34%。其中木麻黄—湿地松混交林0~20cm土壤碳贮量占总碳贮量的31.71%, 20~40cm土层碳贮量占总贮量的20.07%, 0~40cm土层碳贮量占0~100cm土层碳贮量的51.78%。而15a生木麻黄纯林0~20cm土壤碳贮量占总碳贮量的32.13%, 20~40cm土层碳贮量占总贮量的21.66%, 0~40cm土层碳贮量占0~100cm土层碳贮量的53.79%。可见, 土壤表层的碳贮量贡献较大, 因此任何引起水土流失的活动均容易导致土壤碳损失, 同时也反映了南亚热带地区森林土壤的脆弱性。

可见, 同年生的混交林与纯林间碳贮量存在差异, 且这种差异主要体现在0~40cm土层上。这是因为土壤碳贮量主要取决于起土壤含碳率, 混交林和纯林间的土壤含碳率差异主要表现在0~40cm土层上, 而大于40cm土层的含碳率差别很小。

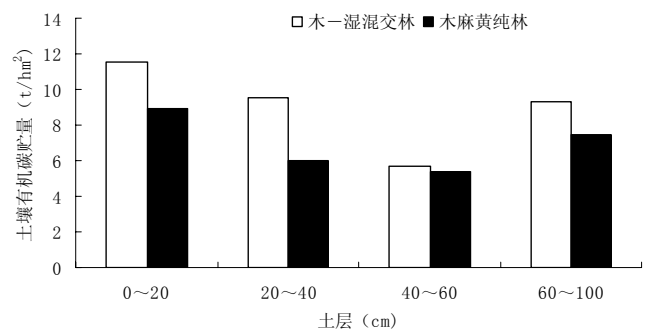


图2 东山木麻黄—湿地松混交林及纯林土壤各层有机碳贮量

4 小结

通过对东山不同发育阶段木麻黄—湿地松混交林和同年生木麻黄纯林的含碳率分析测定, 发现土壤层(0~100cm)含碳率在不同发育阶段间及不同混交林之间均存在差异, 在垂直方向上表现为随土层深度的增加而降低, 不同土层深度的增加而降低, 不同土层含碳率差异达显著水平($p<0.05$), 且相邻土层以0~20cm和20~40cm的差异最为显著, 同一土层土壤含碳率表现出随林龄增大而增大的趋势, 木麻黄—湿地松混交林>木麻黄纯林, 而且随土层加深差异逐渐减小, 到100cm时差异基本消除。木麻黄—湿地松混交林土壤层大于纯林的土壤碳贮量。

参考文献

- [1] 周玉荣, 于振良, 赵士洞. 我国主要森林生态系统碳贮量和碳平衡[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 518-522.
- [2] Post W.M., W.R. Emanuel, P.J. Zinke and A.G. Strangenberger. Soil carbon pools and world life zones[J]. Nature, 1982, 298: 156-159.

- [3] 陈光水, 杨玉盛, 钱伟, 等. 格氏栲与杉木人工林地下碳分配[J]. 生态学报, 2005, 25(11): 2824-2829.
- [4] 于水强, 王政权, 史建伟, 等. 树木根系碳分配格局及其影响因子[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2663 ~ 2669.
- [5] 刘国华, 傅伯杰, 方精云. 中国森林碳动态及其对全球碳平衡的贡献[J]. 生态学报, 2000, 20(5): 733 ~ 740.
- [6] 尉海东, 马祥庆, 刘爱琴, 等. 森林生态系统碳循环研究进展[J]. 中国生态农业学报, 2007, 15(2): 188-193.
- [7] 方运霆, 莫江明, Sandra Brown, 等. 鼎湖山自然保护区土壤有机碳贮量和分配特征[J]. 生态学报, 2004, 24(1): 135 ~ 142.

- [8] 叶功富, 隆学武, 潘惠忠, 等. 木麻黄林的凋落物动态及其分解[J]. 防护林科技, 1996, (专刊): 30-34.
- [9] 叶功富, 张清海, 林益明, 等. 海岸带不同立地木麻黄群落能量研究[J]. 林业科学, 2003, 39(专刊): 1-7.
- [10] 谭芳林. 木麻黄防护林生态系统凋落物及养分释放研究[J]. 林业科学, 2003, (专刊): 21-26.
- [11] 张清海, 叶功富, 林益明. 福建东山县赤山滨海沙地厚荚相思林与湿地松林生物量和能量的研究[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(1): 123 ~ 127.

(上接第 20 页)

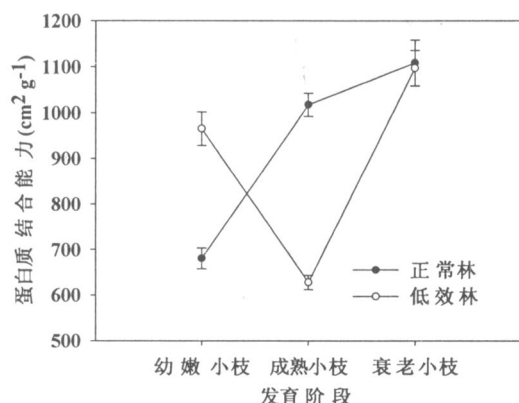


图 3 木麻黄低效林和正常林小枝蛋白质结合能力

3 小结

通过以上对木麻黄小枝单宁各组分的研究, 我们发现, 无论是低效林还是正常林, 它们的总酚含量都随小枝成熟度的增强而下降, 而缩合单宁 (除纤维素结合缩合单宁外) 则先下降后上升。但是, 无论是总酚还是缩合单宁, 都表现为低效林高于正常林。与其他研究结果相比^[20-22], 木麻黄防护林尤其是低效林都显著高于火炬树和兴安落叶松, 这是由滨海沙地生长环境的特殊性和严酷性造成的, 暴雨、风暴潮、旱涝、盐分、台风和污染等不同逆境和严重的人为干扰, 刺激单宁等次生物质的生产以提高其抗逆性, 从而增强木麻黄在环境胁迫条件下对养分等资源的竞争力。

参考文献

- [1] Kraus T E C, Yu Z, Preston C M, et al. Linking chemical reactivity and protein precipitation to structural characteristics of foliar tannins[J]. Journal of Chemical Ecology, 2003, 29: 703-730.
- [2] Kuiters A T. Role of phenolic substances from decomposing forest litter in plant-soil interactions [J]. Acta botanica neerlandica, 1990, 27: 329-348.
- [3] Matthews S, Mila I, Scalbert A, et al. Extractable and non-extractable proanthocyanidins in barks [J]. Phytochemistry, 1997, 45: 405-410.
- [4] Hernes P J, Hedges J I. Determination of condensed tannin monomers in environmental samples by capillary gas chromatography of acid depolymerization extracts [J]. Analytical Chemistry, 2000, 72: 5115-5124.

- [5] 孙达旺. 植物的单宁化学[M]. 北京: 中国林业出版社, 1992.
- [6] 石碧, 狄莹. 植物多酚[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] McLeod M N. Plants tannins-their role in forage quality [J]. Nutrition Abstracts and Reviews, 1974, 44: 803-815.
- [8] Feeny P P. Plant apparency and chemical defense [J]. Recent Advances in Phytochemistry, 1976, 10: 1-40.
- [9] Coley P D, Bryant J P, Chapin F S III. Resource availability and plant antiherbivore defense [J]. Science, 1985, 230: 895-899.
- [10] Bryant J P, Chapin F S III, Klein D R. Carbon/nutrient balance of boreal plants in relation to vertebrate herbivory [J]. Oikos, 1983, 40: 357-368.
- [11] Close D C, McArthur C. Rethinking the role of many plant phenolics-protection from photodamage not herbivores? [J] Oikos, 2002, 99: 166-172.
- [12] 林益明, 向平, 林鹏. 红树林单宁的研究进展[J]. 海洋科学, 2005, 29(3): 59-63.
- [13] Graham H D. Stabilization of Prussian blue color in the determination of polyphenols [J]. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 1992, 40: 801-805.
- [14] Terrill T H, Rowan A M, Douglas G B, et al. Determination of extractable and bound condensed tannin concentrations in forage plants, protein concentrate meals and cereal grain [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1992, 58: 321-329.
- [15] Hagerman A E. Tannin Chemistry[EB/OL]. <http://www.users.muohio.edu/hagermae/tannin.pdf>, 2002.
- [16] Hagerman A E. Radial diffusion method for determining tannin in plant extracts [J]. Journal of Chemical Ecology, 1987, 13(3): 437-449.
- [17] Lin Y M, Liu J W, Xiang P, et al. Tannins and nitrogen dynamics in mangrove leaves at different age and decay stages (Jiulong River Estuary, China) [J]. Hydrobiologia, 2007, 583: 285-295.
- [18] Lin Y M, Liu J W, Xiang P, et al. Tannin dynamics of propagules and leaves of *Kandelia candel* and *Bruguiera gymnorrhiza* in the Jiulong River Estuary, Fujian, China [J]. Biogeochemistry, 2006, 78: 343-359.
- [19] Makkar H P S, Dawra R K, Singh B. Protein precipitation assay for quantitation of tannins: determination of protein in tannin-protein complex [J]. Analytical Biochemistry, 1987, 166: 435-439.
- [20] 于晓光, 张德君, 滕玉辉, 等. 火炬树单宁含量研究[J]. 吉林林学院学报, 1994, 10(3): 180-183.
- [21] 李雪莹, 武永刚, 王文杰, 等. 不同季节和地域对兴安落叶松单宁质量分数的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, 35(3): 18-20.
- [22] 王文杰, 祖元刚, 李雪莹. 兴安落叶松单宁含量的器官差异与季节变化 [J]. 林产化学与工业, 2007, 27(2): 81-84.